Aus der II. Medizinischen Klinik der Charité Berlin
(Direktor: Geheimrat Prof. Dr. v. Bergmann).

Spätwirkungen erschöpfender Muskelarbeit auf den Sauerstoffverbrauch.

IV. Mitteilung.

Der Verlauf der Erholungskurve unmittelbar nach der Anstrengung.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Medizinischen Doktorwürde

an der

Friedrich-Wilhelms-Universität
zu Berlin.

Von

Karl Richard Franz Liebenow
Neukölln.

Tag der Promotion:

7 12 1928

Verlagsbuchhandlung Julius Springer in Berlin. 1927.

2

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Berlin.

Dekan: Prof. Dr. Arndt
Referent: Prof. Dr. G. v. Bergmann
Korreferent: Priv.-Dozent Dr. H. Herxheimer.

Sonderdruck
aus der „Zeitschrift für die gesamte experimentelle Medizin", Bd. 59, Heft 1/2.

Im Anschluß an die vorhergehenden Mitteilungen über die Spätwirkungen erschöpfender Muskelarbeit auf den Sauerstoffverbrauch erschien es von großem Interesse, die Wirkungen unmittelbar nach der Anstrengung zu beobachten. Hierbei erschien es von Vorteil, Apparaturen zu verwenden, die es gestatteten, auch den R.Q. zu errechnen und den Sauerstoffverbrauch bis zum Eintreten normaler Werte zu verfolgen. Von der in den früheren Versuchen angewendeten Arbeit, dem 800-m-Lauf, mußte aus technischen Gründen abgesehen werden. An seine Stelle trat ein im Tempo genau geregelter Treppenlauf, so daß in jedem Versuch die gleiche Anstrengung geleistet wurde. Dieser Treppenlauf war wohl eine recht anstrengende Leistung, aber nicht im eigentlichen Sinn erschöpfend wie der 800-m-Lauf. Gelaufen wurde über eine Treppe von 105 Stufen und einer Gesamthöhe von 16,80 m. Sie hatte 8 Absätze. Sowohl beim Hinauf- wie beim Herunterlaufen wurde immer eine Stufe übersprungen. Das Umdrehen am oberen und am unteren Ende wurde ebenso wie das Durchlaufen der Absätze im Takt mit immer gleicher Schrittzahl ausgeführt. In Höhe von 1½ Stockwerken des Treppenhauses wurde ein im Tempo 152 schlagender, mit einer Klingel versehener Maelzer-Metronom aufgestellt, nach dessen Takt gelaufen wurde. Die geleistete reine Steigarbeit betrug somit bei einem durchschnittlichen Gewicht der V.P. von 70 kg und einmaligem Treppenlauf 1176 m/kg oder 39,2 mkg/Sek. Nach dem Lauf begab sich die Versuchsperson sofort in das Untersuchungszimmer und begann den Respirationsversuch. Für diesen Weg wurden 30—45 Sek. gebraucht. Die Gasanalysen wurden am Zuntz-Geppertschen Apparat

ausgeführt. An ihn wurde ein Rezipient mit 6 Büretten angeschlossen, so daß eine Reihe von Analysenproben hintereinander abgenommen werden konnten. Unmittelbar nach dem Lauf, wenn das Atemvolumen sehr hoch war und ungefähr 30—50 Liter betrug, wurde die für die Analyse nötige Gasmenge in einer Minute entnommen. Da das A.V. hiernach stark abfiel, wurde für die 2. Gasanalyse 1½ bis 2 Minuten Füllungszeit gebraucht. Die 3. Gasanalyse erforderte im Durchschnitt 3, die 4. meist 4 Minuten. Diese 4 Gasanalysen wurden ohne jede Pause durchgeführt, so daß sich eine an die andere anschloß. Nach der 4. fand in der Regel eine Pause von 1—2 Minuten statt, während der die V.P. weiter atmete. Von nun ab wurde immer in 5-Minutenabständen die nötige Gasmenge abgenommen, so daß etwa von 25 Minuten nach der Arbeitsleistung an auf je 5 Minuten Pause ein 5 Minuten dauernder Respirationsversuch folgte. Dies wurde so lange durchgeführt, bis etwa 120 Minuten nach dem Lauf verstrichen waren.

Die Versuche wurden an 5 V.P. vorgenommen, auf deren Auswahl besonderer Wert gelegt wurde. So waren die V.P. H. und P. völlig untrainiert, hatten auch früher wenig und in den letzten Jahren überhaupt keinen Sport getrieben. Sie gehören zu jenem Menschentypus, der sportlich überhaupt keine Höchstleistungen vollbringen kann, und auch an solche nicht ungefähr herankommt. H. und P. liefen nur zweimal 4 Treppen und waren davon viel erschöpfter als K. nach 10 maliger Leistung. Die V.P. T. und R. stellen den Übergang zum trainierten Sportsmann K. dar. T. ist ein Mensch, der zwar auch früher keinen, in der letzten Zeit mittelmäßig stark Sport getrieben hat, der aber über gute körperliche Kräfte verfügt und nach mäßigem Training leicht Anstrengungen vollbringen kann, die ihm vorher Schwierigkeiten gemacht haben. R. trieb früher sehr viel Sport und erreichte zuweilen Höchstleistungen, hatte aber jahrelang ausgesetzt. Die letzte V.P., K., ist ein seit Jahren im gleichmäßigen Training befindlicher Mittelstreckler und Skiläufer, dem das Treppenlaufen subjektiv überhaupt keine Beschwerden machte, und der beim 10. Mal die 4 Treppen genau so leicht lief wie beim ersten Mal. K. ist auch im Temperament sehr gleichmäßig. Seine Ruhewerte sind von einer Gleichmäßigßeit, wie sie neben jahrelanger Übung im Respirationsversuch nur beim Fehlen jeder psychischen Labilität erreicht wird.

Es folgen nunmehr die Tabellen der O_2-Werte von H. und K. Tab. 1 u. 2 und Abb. 1 u. 2. Die O_2-Werte der anderen V.P. konnten aus Raummangel nicht wiedergegeben werden. Bei den O_2-Werten von H., der in jedem Versuch zweimal 4 Treppen laufen mußte, ist die Abkürzung der O_2-Erholungszeit, d. h. der Zeit von der Beendigung der Arbeit bis zum Wiedereintritt normaler Grundumsatzwerte, durch Training

Tabelle 1. *H.* O_2-*Werte.*

Minuten	Versuch am 9. XII. 26	Versuch am 11. XII. 26.	Versuch am 14. XII. 26	Versuch am 16. XII. 26	Versuch am 18. XII. 96.	Versuch am 22. XII. 26.
Ruhewert	232,1	—	247,5	231,6	239,2	227,2
0						
1	952,7		1334,8	927,0	950,6	1120,2
2		943,1				
3	584,6		590,6	662,4	855,1	694,4
4						
5		701,2	486,2		539,7	
6				509,9		531,2
7	606,4	560,4				
8			325,3			
9		585,4			407,2	
10	455,8		373,3	328,2		536,3
11						
12					291,3	
13	403,2	329,3				
14			271,1	305,9		287,2
15— 20		288,3			244,2	
20— 25	285,2		282,6	263,5		248,2
25— 30		283,6			270,3	
30— 35	296,4		252,9	273,1		242,7
35— 40		249,9			223,8	
40— 45	277,7		232,3			234,5
45— 50		244,3		246,9	229,5	
50— 55	275,7		224,7			
55— 60	254,2	243,3		256,9	232,6	248,1
60— 65			245,0	236,2		
65— 70					235,7	
70— 75	230,0		217,9	229,0		233,2
75— 80		239,3			283,9	
80— 85	235,3		239,9	233,3		234,5
85— 90		239,5			263,3	
90— 95	225,8		218,9	223,6		232,3
95—100		233,2			225,8	
100—105	219,0		223,9	234,1		228,5
105—110		209,9			251,9	
110—115	245,0		242,1	235,7		239,5
115—120		224,2				

besonders auffällig. Die Tabelle zeigt, daß der O_2-Verbrauch von seinem höchsten Punkt unmittelbar nach Beendigung der Muskelarbeit keineswegs gleichmäßig zum Ruhewert abfällt, vielmehr zeigen sich gegen Ende der Erholung ziemlich starke Schwankungen. Nachdem der Ruhewert schon erreicht ist, sehen wir z. B. im Versuch vom 18. XII. 1926 nach 80—90 Minuten ein abermaliges Ansteigen und erneutes Absinken. Dieses Verhalten in der Erholung findet sich nicht nur bei H., sondern auch mehr oder weniger ausgeprägt bei allen anderen V.P. Ganz besonders stark sind diese „Zacken" bei R. und P., und zwar in den Versuchen von 27. XII., 6. I., 13. I. und 20. I. So steigt der O_2-

Tabelle 2. *K.-O_2-Werte.*

Minuten	Versuch am 4. II. 27	Versuch am 10.II. 27	Versuch am 12. II. 27	Versuch am 17. V. 27	Minuten	Versuch am 4. II. 27	Versuch am 10.II.27	Versuck am 12. II. 27	Versuch am 17.V. 27
Ruhewerte	244,5	—	256,0	263,0	Ruhewerte	244,5	—	256,0	263,0
1					20				
2	1639	1523,5	1681,0	1625,3	25	320,7			
3	876,3	594,0	774,0	737,1	30	291,7	287,2	291,5	343,2
4					35		301,0	253,8	274,7
5			434,5		40				
6	807,7	474,1		466,5	45				
7					50	263,9	274,2	284,0	271,3
8					55		291,9	273,1	265,4
9	610,0				60				
10			397,7	341,2	65	268,6	259,0	265,7	268,4
11		379,9			70				
12					75	255,8	279,4	267,2	270,0
13	481,7				80				
14					85	265,4	264,8		257,1
15					90				
16			324,0		95	270,3			
17	378,9	309,7		325,7	100				
18					105	264,3			
19					110				
					115				
					120				

Verbrauch von 244,5 ccm auf 272,3 ccm, von 226,5 auf 253,6 ccm, von 261,5 ccm auf 314,5 ccm und von 283,2 ccm auf 329,7 ccm wieder an.

Um den Einfluß des Trainings besonders deutlich zu zeigen, wurde die Anstrengung für ihn wesentlich erhöht dadurch, daß er im vorletzten Versuch 2¾ mal 4 Treppen laufen mußte. Und es zeigte sich, daß in diesem Versuch die Erholung fast eben erst in der gleichen Zeit wie beim 1. Versuch eintrat, also bedeutend später als in den vorhergehenden Versuchen.

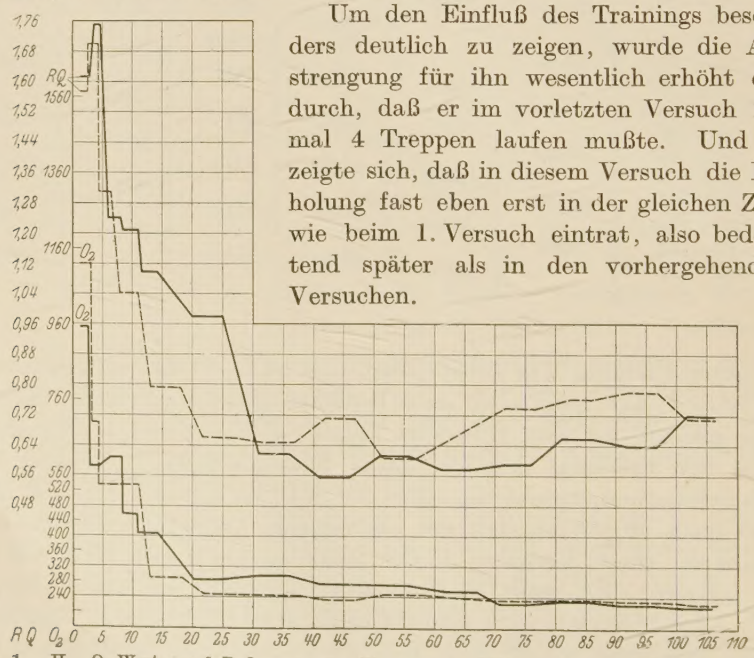

Abb. 1. H. O_2-Werte und R.Q. ——— Vers. v. 9. XII. — — — Vers. v. 22. XII.

Die O_2-Kurven von P. unterscheiden sich prinzipiell von den O_2-Kurven H.s überhaupt nicht. Besonders auffällig ist ebenso wie bei H. die enorme Verkürzung der O_2-Erholungszeit, und zwar von 75 Minuten im ersten Versuch auf 35 Minuten im letzten Versuch; im übrigen sind im Vergleich zu H. die „Zacken" häufiger, was allerdings in der graphischen Darstellung (Abb. 3) nicht deutlich zum Ausdruck kommt.

Auch in den Versuchen mit T. ist eine Abkürzung der O_2-Erholungszeit im Training deutlich wahrnehmbar. T. hat im ganzen 9 Laufversuche gemacht, wobei er zunächst an 4 Tagen 2 mal 4 Treppen, an den darauffolgenden Tagen 3 mal 4 Treppen und schließlich nochmals zweimal 4 Treppen lief. Vergleicht man den ersten Versuch und den letzten, so sieht man, daß die O_2-Erholungszeit von 70 Minuten auf 35 Minuten gefallen ist. Vielleicht ist die starke Senkung darauf zurückzuführen, daß bei T. infolge der dazwischen liegenden größeren Arbeitsleistung eine besonders rasche Trainierung eintrat.

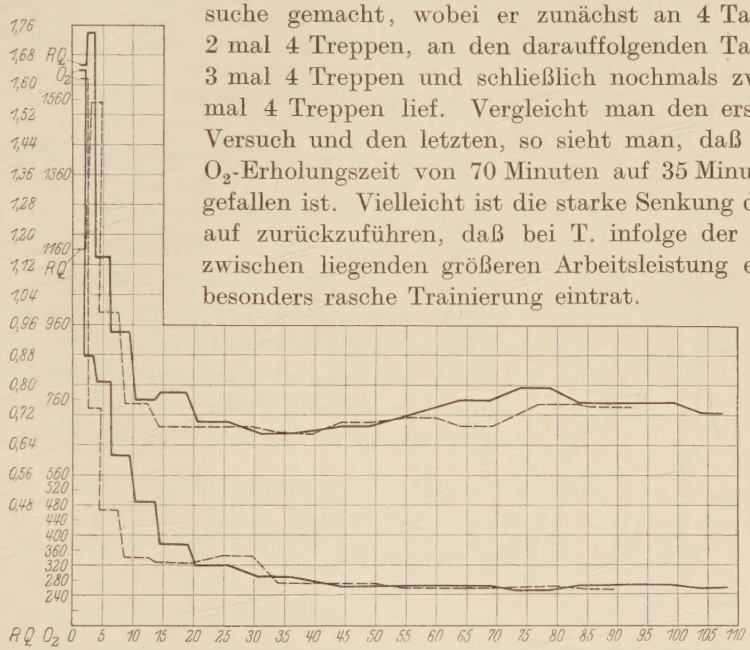

Abb 2. K. O_2-Werte und R.Q. ——— Vers. v. 4. II. 1927. — — — Vers. v. 17. II. 1927.

Bei R. liegen die Dinge etwas anders, aber auch hier ist eine Verkürzung der Erholung festzustellen. Aber die Verhältnisse werden dadurch etwas verschleiert, daß die „Zackenbildung", d. h. die Schwankungen des O_2-Verbrauchs in der Erholung besonders stark sind, und es daher nicht leicht ist, das wirkliche Ende der Erholung festzulegen. Diese Schwierigkeit macht sich auch bei den anderen V.P., wenn auch in geringerem Maße, bemerkbar.

Ein ganz anderes Bild dagegen zeigen die O_2-Werte von K. (Tab. 2 u. Abb. 2). Hier ist überhaupt kein Abfall der O_2-Erholungszeit wahrzunehmen, vielmehr ist sie im ersten und letzten Versuch etwa gleich. Dies ist wohl darauf zurückzuführen, daß die geleistete Arbeit für K.

zu gering war, um ihn anzustrengen und infolgedessen auch ein Trainingseinfluß nicht eintreten konnte. Ein Versuch über die doppelte Strecke, 10 mal 4 Treppen, zeigte ein wesentlich späteres Eintreten der Erholung. Die Erholung war nach 105 Minuten noch nicht beendet, während sie sonst nach 45—55 Minuten eintrat.

Ein Überblick über die O_2-Werte zeigt also deutlich, daß die O_2-Erholungszeit im Laufe des Trainings bedeutend kürzer wird.

Bei *H.* von 65 Minuten im 1. Versuch auf 35 Minuten im letzten Versuch
Bei P. von 70 Minuten im 1. Versuch auf 35 Minuten im letzten Versuch
Bei R. von 45 Minuten im 1. Versuch auf 30 Minuten im letzten Versuch
Bei T. von 70 Minuten im 1. Versuch auf 35 Minuten im letzten Versuch.

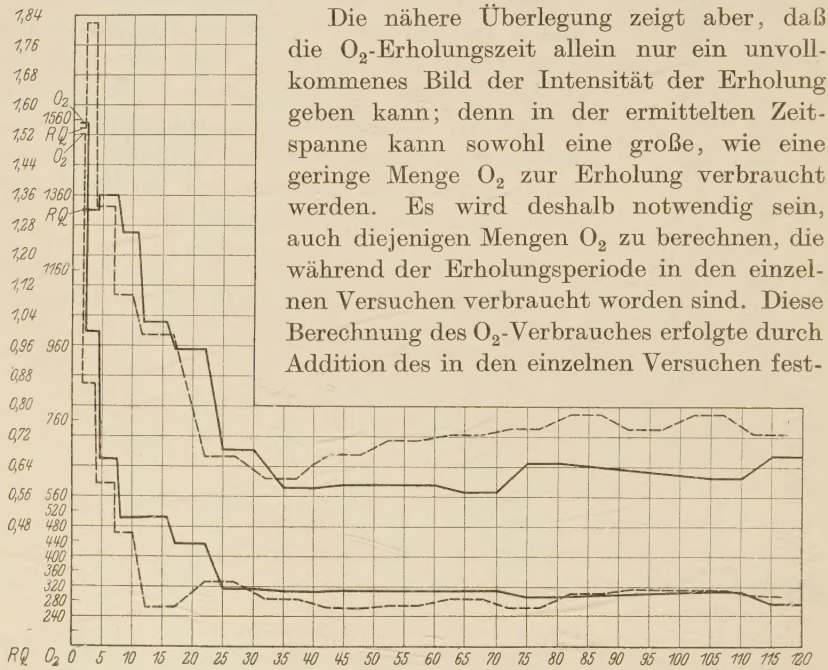

Abb. 3. P. O_2 = Werte und R. Q. ——— Vers. v. 13. I. — — — Vers. v. 22. I.

Die nähere Überlegung zeigt aber, daß die O_2-Erholungszeit allein nur ein unvollkommenes Bild der Intensität der Erholung geben kann; denn in der ermittelten Zeitspanne kann sowohl eine große, wie eine geringe Menge O_2 zur Erholung verbraucht werden. Es wird deshalb notwendig sein, auch diejenigen Mengen O_2 zu berechnen, die während der Erholungsperiode in den einzelnen Versuchen verbraucht worden sind. Diese Berechnung des O_2-Verbrauches erfolgte durch Addition des in den einzelnen Versuchen festgestellten O_2-Verbrauches. Da nur die ersten Versuche sich unmittelbar nacheinander anschlossen, nachher regelmäßig wiederkehrende Pausen eintraten, mußte der O_2-Verbrauch in den Pausen durch Interpolation zu berechnen versucht werden. Dies wurde so ausgeführt, daß die Differenz aus dem O_2-Verbrauch zweier aneinander grenzender Versuche das arithmetische Mittel gezogen wurde, wie nachfolgendes Beispiel zeigt:

Berechnung der gebrauchten O_2-Menge zwischen 15—30 Minuten.

15—20 Minuten O_2-Verbrauch pro Minute 350 ccm O_2
25—30 Minuten O_2-Verbrauch pro Minute 250 ccm O_2
15—20 Minuten = 350 mal 5 = 1750 ccm O_2
20—25 „ = 300 „ 5 = 1500 „ „
25—30 „ = 250 „ 5 = 1250 „ „
O_2-Verbrauch von 15—30 Minuten = 4500 ccm O_2.

Von der Gesamtmenge des so errechneten O_2-Verbrauches wurde der Ruhe-O_2-Verbrauch für die gleiche Zeitdauer abgezogen, so daß wir es hier nur mit den O_2-Mengen zu tun haben, die für die Restitution erforderlich waren. Zur Gewinnung des Erholungs-O_2-Verbrauches wurde, um eine einheitliche Zeitspanne für alle Versuche zu haben, der O_2-Verbrauch für die ersten 80 Minuten nach Beendigung der Arbeit errechnet.

Die Werte hierfür ergeben sich aus Tab. 3.

Tabelle 3. *Erholungssauerstoffwerte bis 80 Minuten.*

V.-P.						
P.	13. I.	15. I.	18. I.	20. I.	22. I.	
	8057	8718,2	6303,3	6406,8	2767,5	
H.	9. XII.	11. XII.	14. XII.	16. XII.	18. XII.	22. XII.
	7157,9	6353,1	3658,2	5084,0	4723,4	5402,0
R.	27. XII.	2. I.	4. I.	6. I.	11. I.	
	5922,5	5329,5	1256,0	3749,8	4243,4	
K.	5. II.	10. II.	12. II.	17. II.		
	8470,8	5701,8	5306,1	5972,9		

Die Menge des Erholungs-O_2 sinkt also im Laufe des Trainings bei allen V.P., auch bei K. deutlich ab, obwohl bei letzterem die Erholungszeit sich nicht ändert. Der Erholungs-O_2 (Oxygen Debt nach *A. V. Hill*) scheint demnach leichter von der Trainingswirkung betroffen zu werden, als die Erholungszeit.

In jedem Fall ergibt sich aus dem Vorhergehenden, daß sowohl die Erholungszeit wie auch der Erholungs-O_2 für die Beurteilung der Erholung von Bedeutung sind. Will man beides in gleicher Weise verwerten, so kann man dies nach dem Vorgange von *Simonsen* und *Rießer*[1] mit Hilfe der Errechnung der Restitutionskonstanten erreichen.

Durch *Hill, Long* und *Lupton* ist festgestellt worden, daß die Erholung, d. h. die Abnahme des Sauerstoffverbrauches nach beendeter Arbeit in Form einer Expontentialkurve verläuft. Bezeichnet man nun mit *Simonson* und *Rießer* den Gesamterholungsumsatz mit Cal.A, die nach einer Zeit noch nicht umgesetzten Cal. des Erholungsumsatzes als Cal.t, als *Rk* die „Restitutionskonstante", so ist

$$\text{I. Cal.}A = \text{Cal.}t - e^{Rk \cdot t}$$

[1] Pflügers Arch. f. d. ges. Physiol. **214**. 1926; **215**. 1927.

Der Ablauf der Restitution, d. h. die Geschwindigkeit der Milchsäurebeseitigung, ist abhängig von der Konstanten *Rk*; in der Restitutionskonstanten *Rk* haben wir daher den Ausdruck des Restitutions-(Erholungs-)Vermögens zu sehen. Auflösung der Gleichung nach *Rk* ergibt die in ihrer Anwendung sehr einfache Formel:

$$\text{II. } Rk = \frac{l}{t} \ln \frac{\text{Cal.}A}{\text{Cal.}t}.$$

Die Restitutionskonstanten für unsere Versuche ergeben sich aus Tabelle 4.

Tabelle 4. *Restitutionskonstanten.*

V.-P.						
P.	13. I.	15. I.	18. I.	20. I.	22. I.	
	0,06892	0,08251	0,1159	0,11573	0,3279	
H.	9. XII.	11. XII.	14. XII.	16. XII.	18. XII.	22. XII.
	0,04464	0,09504	0,11238	0,1023	0,1746	0,1048
R.	27. XII.	2. I.	4. I.	6. I.	11. I.	
	0,06342	0,1800	0,1554	0,12275	0,18933	
K.	5. II.	10. II.	12. II.	17. II.		
	0,1188	0,13615	0,14746	0,12445		

Aus ihr ergibt sich, daß zwar verhältnismäßig große Schwankungen in der R.K. vorhanden sind, daß aber ebenso wie bei der leichten Arbeit, die von *Simonson* und *Rießer* untersucht wurde, auch bei unserer sehr anstrengenden Arbeitsart ein Einfluß der Übung nicht verkannt werden kann. Die R.K. steigt bei allen V.P. zwischen dem ersten und letzten Versuch auf das Doppelte oder mehr.

Nur bei K. ist keine wesentliche Veränderung wahrzunehmen; dies steht damit im Einklang, daß für diese ausgezeichnet trainierte V.P. die geleistete Arbeit keine Anstrengung bedeutete und daher auch keine Trainingswirkung zu erwarten war. Die hier beobachtete Einwirkung des Trainings auf die Erholung steht in guter Übereinstimmung mit den Untersuchungen von *Herxheimer*[1], der den Gang der Erholung an dem Absinken und Wiederansteigen der alveolaren CO_2-Spannung verfolgte und auch hier eine Abkürzung der Erholungszeit durch Training fand.

Interessant ist auch das Verhalten des respiratorischen Quotienten. Bei anstrengender Arbeit kommt es bekanntlich zu einer Anhäufung von Milchsäure im Muskel und zu ihrem Übertritt ins Blut. Dieser Übertritt hat eine, wenn auch vorübergehende Säuerung des Blutes zur Folge, die wiederum zu einer starken Austreibung von CO_2 aus den Bicarbonaten führt. Da nun bei sehr heftiger Arbeit eine plötzliche Überschwemmung des Blutes mit Milchsäure und infolgedessen auch mit freigewordener CO_2 eintritt, können die großen Mengen CO_2 nicht

[1] Zeitschr f. klin. Med. **103**. 1926.

auf einmal durch die Lungen abgelüftet werden. Es kommt zu einer Anstauung von CO_2 im Blut und zu einer starken Hyperventilation, während derer der Prozentgehalt der CO_2 in der Außenluft stark ansteigt. Der R.Q. pflegt in solchen Fällen beträchtlich über 1 anzusteigen. Im Verlaufe der Erholung tritt dann der umgekehrte Vorgang ein. Mit dem allmählichen Verschwinden der Milchsäure aus dem Blut werden die Pufferreste frei und vermögen wieder CO_2 zu binden. Es wird deshalb CO_2 aus der Atemluft retiniert und der R.Q sinkt tief ab, meist unter 0.7. Diese Verhältnisse sind von *Hill* und seinen Mitarbeitern in klarer und deutlicher Weise auseinandergesetzt worden[1].

Die gleichen Verhältnisse sehen wir auch bei unseren Versuchen. Unmittelbar nach der Arbeit liegt der R.Q. weit über 1, ja er steigt gewöhnlich in der 2. und 3. Minute nach weiter an, da es erst dann zu dem Höhepunkt der CO_2-Ausscheidung kommt. Denn dieser bedarf zu seiner Ausbildung einer gewissen Zeit, so daß er während der kurzdauernden Arbeitsleistung noch nicht zur Beobachtung gelangt, sondern erst einige Minuten später.

Ebenso beobachten wir in den späteren Stadien der Erholung eine starke CO_2-Retention mit Erniedrigung des R.Q. bis zu 0,55 (im 1. Versuch von H.). Hierbei ist es nicht ohne Interesse, zu beobachten, daß in den späteren Versuchen das Absinken des R.Q. nicht die gleichen Grade erreicht. Diese Verhältnisse lassen sich natürlich nur bei wirklich schwerer Muskelarbeit beobachten. Wenn andere Untersucher, wie *Kaup* und *Grosse*, diese Schwankungen des R.Q. nicht feststellen konnten, so wird dies vielleicht in der Verschiedenheit der angewandten Arbeit seinen Grund haben.

Im Zusammenhang hiermit muß das Verhalten der CO_2-Ausscheidung im Verlauf des Trainings unser Interesse erregen. Die CO_2-Ausscheidung ist nämlich im Beginn des Trainings ohne Zweifel stärker, und sie nimmt auch längere Zeit in Anspruch. Addiert man die ausgeschiedenen CO_2-Mengen vom Ende der Anstrengung bis zu dem Zeitpunkt, in dem der R.Q. unter 0.73 fällt, unter Interpolation der zwischen den einzelnen Respirationsversuchen anzunehmenden CO_2-Mengen,

Tabelle 5. *Gesamt-CO_2-Werte bis zum Absinken des R. Q. unter 0,73.*

V.-P.						
P.	13. I.	15. I.	18. I.	20. I.	22. I.	
	16224,0	17292,4	14045,0	14677,3	13609,6	
H.	9. XII.	11. XII.	14. XII.	16. XII.	18. XII.	22. XII.
	14343,7	12420,1	10899,5	10525,4	9782,4	11169,5
R.	27. XII.	2. I.	4. I.	6. I.	11. I.	
	11042,9	7647,0	8569,3	7011,0	7592,2	
K.	5. II.	10. II.	12. II.	17. II.		
	14816,7	9224,2	11738,2	11610,3		

[1] *Hill* und *Lupton:* Quart. journ. of med. **16**, 1923; *Hill, Long* und *Lupton:* Journ. of physiol. **57**. 1923: Proc. of the roy. soc. London, Ser. B. **97**. 1924.

so erhält man am Ende des Trainings viel geringere CO_2-Werte. Auch wird die Zeitspanne bis zu dem Absinken des R.Q. unter 0,73 viel kleiner, ebenso auch die Menge der pro Minute ausgeschiedenen CO_2 (s. Tab. 5).

Schließlich ist bemerkenswert, daß die CO_2-Retention, die sich durch den abnormen Tiefstand des R.Q. kundgibt, in der Regel noch andauert, wenn der O_2-Verbrauch schon wieder zur Norm gesunken ist. Es ist also recht fraglich, was man als eigentliches Ende der Erholung ansehen soll; das Ende der Erhöhung des O_2-Verbrauchs oder das der CO_2-Retention,

Dieser zeitliche Unterschied ist nicht verständlich. Denn die oxydative Erholung ist dann vollendet, wenn die im Muskel bzw. im Blut befindliche Anstrengungsmilchsäure wieder in ihre Vorstufe zurückgeführt bzw. verbrannt ist. In dem gleichen Moment sind auch die von Milchsäure befreiten Puffer wieder imstande, CO_2 zu retinieren, was kaum längere Zeit in Anspruch nehmen dürfte. Wenn also die Retention von CO_2 die ocydative Erholung längere Zeit überdauert, so kann dies nicht durch die oxydative Erholung direkt bedingt sein. Die Annahme einer überschießenden Retention liegt nahe, ist jedoch rein hypothetisch.

Unsere Beobachtung steht übrigens im Gegensatz zu der von *A. V. Hill*, der annimmt, daß CO_2-Retention und Erhöhung des O_2-Verbrauches *gleichzeitig* aufhören.

Diskussion der Ergebnisse.

Bei allen V.P. mit Ausnahme von K. ist eine deutliche, subjektiv wahrnehmbare Trainingswirkung zu konstatieren; die Arbeitsleistung fällt am Schluß der Laufperiode viel leichter, was sich besonders in dem geringeren Grade von Dyspnoe äußert.

Objektiv ist diese Veränderung begleitet von 1. einem geringeren Arbeitssauerstoffverbrauch, 2. einem rascheren Absinken des O_2-Verbrauches zum Ruhewert. 3. demzufolge einer Erhöhung der Restitutionskonstante. 4. einem Geringerwerden der CO_2-Ausscheidung und demzufolge auch einem weniger tiefen Absinken des R.Q. unter den Ruhenüchternwert.

Beim Anblick dieser offenbar sämtlich in gleicher Richtung liegenden Veränderungen erhebt sich zwingend die Frage nach einer gemeinsamen Ursache.

Wir sind gewöhnt, die Anstrengungsmilchsäure als denjenigen Faktor anzusehen, der die Veränderungen im O_2-Verbrauch und in der CO_2-Ausscheidung hervorruft. Diese Annahme ist ohne Zweifel, wenigstens zu ihrem größten Teil, richtig. Sonst wäre es ganz unerklärlich, warum es zur Ablüftung einer so großen Menge CO_2 kommen sollte.

Wir müssen also die Ursache der von uns gefundenen Veränderungen zunächst in der Milchsäurebildung bzw. Umwandlung suchen.

Gehen wir von der Vorstellung aus, daß zu der gleichen Arbeitsleistung für den Muskel immer auch die gleiche Menge Vorratssubstanz erforderlich ist (eine Vorstellung, die nicht als erwiesen gelten kann), so wird auch die gleiche Menge Milchsäure bei dieser Arbeitsleistung entstehen. Die gleiche Menge Milchsäure wird aber immer im Blut die gleiche Menge CO_2 in Freiheit setzen, und sie wird auch zu ihrer Beseitigung immer die gleiche Menge O_2 benötigen.

Unter dieser Vorstellung läßt sich also die Abnahme der CO_2-Ausscheidung und des O_2-Verbrauches nicht erklären, wenn man annimmt, daß jedesmal die gleiche Menge Milchsäure ins Blut gelangt. Ist diese Annahme aber notwendig? Keineswegs. Es wäre möglich, daß im fortschreitenden Training zwar gleiche Mengen Milchsäure gebildet, aber sofort an ihre Ursprungsstelle, nämlich im Muskel von Muskelproteinen abgepuffert werden, so daß weniger davon in den Blutkreislauf gelangt. Dann wäre die Abnahme der CO_2-Ausscheidung erklärlich, nicht aber die des O_2-Verbrauches, da ja zur Weiterverarbeitung der Milchsäure in jedem Fall Sauerstoff notwendig ist, insbesondere wenn sie im Muskel gebunden worden ist. Auf diesem Wege ist also eine Erklärung des Phänomens nicht zu finden. Auch die interessante Annahme von *Rießer* und *Simonson*, es handele sich um einen der Giftgewöhnung analogen Vorgang der Gewöhnung an Milchsäure, bringt kein Licht in die Zusammenhänge dieses komplizierten Mechanismus. Völlig ausscheiden muß schließlich die früher oft zur Erklärung der Trainingsveränderung herangezogene „Schulung der Koordination", die bei einer so alltäglichen und gewohnten Arbeitsart wie dem Treppenlaufen in unseren Versuchen nur eine ganz untergeordnete Rolle spielen kann.

Wenn wir auch eingestehen müssen, daß wir jetzt noch keine Erklärung geben können, so ergibt sich ein Fingerzeig für den weiteren Weg: es wird erstens zu klären sein, ob zu der gleichen Arbeitsleistung in jedem Falle die gleiche Menge Milchsäure gehört und ob das Training hierbei eine Rolle spielt; zweitens aber wird man dem Problem nachgehen müssen, ob das Verhältnis der oxydierten Milchsäure zur resynthetisierten Milchsäure sich im trainierten Muskel zugunsten der letzteren ändert, d. h. ob zur Resynthese der gleichen Menge Milchsäure weniger Oxydationen notwendig sind.

Zusammenfassung.

1. An 5 V.P. wurde der O_2-Verbrauch und die CO_2-Abgabe nach genau dosiertem, anstrengendem Treppenlaufen bis zum Ende der Erholung mit dem Zuntz-Geppertschen Apparat bestimmt und die Versuche in bestimmten Abständen zum Zwecke der Trainierung wiederholt.

2. Bei allen V.P. zeigte sich im Laufe des Trainings eine Abnahme des Erholungssauerstoffverbrauches, bei allen bis auf eine besonders gut trainierte eine Abnahme der O_2-Erholungszeit, ferner bei allen eine Abnahme der ausgeschiedenen CO_2-Menge und der Zeitspanne, die zur Herstellung des CO_2-Gleichgewichts im Körper benötigt wurde. Schließlich fand sich eine Zunahme der Restitutionskonstante im Training.

Zum Schluß ist es mir ein Bedürfnis, Herrn Privatdozenten Dr. *Herxheimer* für die vielfache Anregung und Unterstützung bei dieser Arbeit meinen Dank auszusprechen. Ferner möchte ich den Versuchspersonen, die sich in aufopfernder Weise zu den langdauernden Versuchen zur Verfügung gestellt haben, nämlich Herren Doktoren *Holzbock*, *Radtke*, *Kost*, *Palmgren* und *Thiele* herzlich danken.

Lebenslauf.

Ich *Karl Richard Franz Liebenow* wurde am 25. X. 1898 in Rixdorf jetzt Neukölln, als Sohn des Bäckermeisters *Richard Liebenow* geboren. Im April 1917 erlangte ich das Reifezeugnis am Kaiser-Friedrich-Realgymnasium zu Neukölln. Da ich die Absicht, hatte einen technischen Beruf zu ergreifen, arbeitete ich als Volontär 1½ Jahre im Maschinenfach, sattelte aber Ende 1918 zur medizinischen Fakultät um. Ich studierte nur in Berlin, machte dort meine Examina und erlangte am 10. VI. 1927 die Approbation als Arzt.